



**I Curso de Especialização em Engenharia da Soldagem
Turma 2011 - CTA DEMEC-TC/UFPR**

GUILHERME DE BORBA

**VALIDAÇÃO DO PROCESSO DE BRASAGEM EM CONDENSADORES
AUTOMOTIVOS**

CURITIBA-PR

2013

GUILHERME DE BORBA

**VALIDAÇÃO DO PROCESSO DE BRASAGEM EM CONDENSADORES
AUTOMOTIVOS**

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Especialista em Engenharia da Soldagem do curso de Especialização em Engenharia da Soldagem da Universidade Federal do Paraná, na área de concentração fabricação.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Cesar Okimoto.

CURITIBA

2013

TERMO DE APROVAÇÃO

GUILHERME DE BORBA

VALIDAÇÃO DO PROCESSO DE BRASAGEM EM CONDENSADORES AUTOMOTIVOS

Monografia aprovada como requisito parcial à obtenção de grau de Especialista em Engenharia da Soldagem, área de concentração Fabricação, no Curso de Especialização em Engenharia da Soldagem, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná.

Banca Examinadora :

Prof. Dr. Hélio Padilha

UFPR

Prof. Dr. Ramon Sigifredo Cortés Paredes

UFPR

Prof. Dr. Paulo Cesar Okimoto

UFPR

Curitiba, 31 de outubro de 2013.

RESUMO

O presente trabalho se propõe a demonstrar um processo de validação do processo de brasagem em condensadores, onde são analisados juntas brasadas em material base liga de alumínio e metal de adição liga hipoeutética de alumínio silício em forno contínuo tipo esteira sob atmosfera de nitrogênio. O processo de validação das juntas se refere à inclusão de um novo condensador a uma linha de fabricação existente, e nela se produz um mix diversificado de produtos com todos os processos já estabelecida e bem definidos. Para brasagem em grandes fornos contínuos o abastecimento de peças é feito em um cesto, onde a operação de carregamento, a velocidade da esteira e a temperatura da câmara da zona de brasagem são muito críticas. Trabalhando com as variáveis temperatura da zona de brasagem e velocidade da esteira congeladas a ideia é achar um carregamento ideal dos cestos, compensando o excesso de temperatura ou a falta de temperatura com chapas de compensação, e serão analisadas juntas de brasagem através de inspeção visual e macrografias para garantir juntas sem falhas de brasagem e isento de erosão.

Palavras-Chave: Juntas brasadas. Brasagem. Carregamento. Alumínio

ABSTRACT

This paper proposes to demonstrate a process validation brazing process in condenser , which are analyzed brazed joints in aluminum alloy base material and filler metal alloy hipoeutética aluminum silicon mat type continuous furnace under nitrogen atmosphere . The validation process of the joints for the inclusion of a new condenser to an existing manufacturing line , and it produces a diversified product mix with all procedures already established and well defined . Brazing in large continuous ovens supply parts is made in a basket, in which the loading operation , the belt speed and the temperature of the chamber zone brazing are very critical . Working with variables zone temperature brazing and belt speed frozen the idea is to find a optimal load the baskets , offsetting the excess temperature or lack of plates with temperature compensation , and will be analyzed together brazing through visual inspection and macrographs together to ensure flawless brazing and free from erosion.

.

Keywords: brazed joints. Brazing. Loading. Aluminum

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1 - Heater core.....	11
Figura 1.2 –Evaporador.....	11
Figura 1.3 –: Condensador.....	12
Figura 2.1 –: Novo produto, condensador. Produto acabado, com seus componentes explodidos ao lado.	13
Figura 2.2: Desenho do condensador com as juntas críticas para a brasagem destacadas em vermelho.	16
Figura 3.1: Pintura de parede de uma tumba em Tebas, no Egito, feito em aproximadamente 1475 aC, Que mostra um escravo envolvido em brasagem com ouro. (Brazing Handbook).....	18
Figura 3.2: Simplificação de um processo de brasagem. Fonte: adaptado de Brazing Handbook (1991) [1]	19
Figura 3.3 - Ângulo de contato entre a liga de adição e o material base. Fonte: Brazing Handbook (1991) [1]	20
Figura 3.4 - Exemplo de brasagem de tubo com plate utilizando a brasagem por tocha.	23
Figura 3.5 - Desenho esquemático de fabricação de condensadores de alumínio em com brasagem em forno contínuo tipo esteira sob atmosfera de nitrogênio.....	24
Figura 3.6 - Layout esquemático de forno contínuo tipo esteira sob atmosfera de nitrogênio, destacando as diferentes zoneamentos no forno.	24
Figura 4.1 – A esquerda a mesa de montagem do core. A direita o core do condensadorem processo de montagem (inserção dos tubos no plate).	26
Figura 4.2 – Processo de aramagem do core do condensador, para garantir a folga entre aleta e tubo.	26
Figura 4.3 – A) Aplicação de fluxo com pincel. B) Juntas sendo preparadas para brasagem. C) Core do condensador preparado para brasagem com grampos e a arame garantindo as folgas. D) Inspeção pré brasagem, verificação das folgas e aplicação de fluxo.	27
Figura 4.4 – Core do condensador preparado para brasagem com grampos e a arame garantindo as folgas.....	27
Figura 4.5 - Forno de brasagem, a esquerda a foto panorâmica do forno KYK, a direita uma figura esquemática do forno e em baixo o layout com as diferentes zonas no forno KYK.	28
Figura 4.6 – A esquerda cesto de brasagem. A direita o carregamento com a chapa de compensação desenvolvida para esse novo modelo em estudo.....	28
Figura 4.7 –Set point do forno.....	29
Figura 4.8 – Chapas de compensação de temperatura. A esquerda chapa utilizada nas linhas de produção já consolidada. A direita chapa compensação de temperatura desenvolvida para o modelo em estudo	29
Figura 4.9 – Fluxo de brasagem (Nocolok flux brazed condenser).	30
Figura 4.10 – Pontos de fixação dos termopares.	30
Figura 4.11 – Coletor de informações de monitoramento (Datapaq).....	30
Figura 4.12 – Informações geradas na interface homem máquina para interpretação do monitoramento da curva de tempo e temperatura no forno de brasagem.	31
Figura 5.1 – Diagrama com resumo das informações do teste 01 (Objetivo, set point do forno, layout de carregamento, representação gráfica da temperatura, análise e resultado)	34
Figura 5.2 – Junta 02, filete de brasagem com comprimento maior que 0,8 mm, portanto dentro da especificação. Junta está aprovada.	35
Figura 5.3 – Junta 09, filete de brasagem com comprimento maior que 0,8 mm e parede do tubo isenta de redução de espessura, portanto dentro da especificação. Junta está aprovada.....	35
Figura 5.4 – Layout de carregamento utilizado no teste 01, com as chapas de compensação de temperatura destacadas em vermelho.	36
Figura 5.5 - Falha de brasagem aleta com o tubo, originada por folga excessiva entre os componentes.	36
Figura 5.6 – Diagrama com resumo das informações do teste 02 (Objetivo, set point do forno, layout de carregamento, representação gráfica da temperatura, análise e resultado)	37
Figura 5.7 - Falha de brasagem plate header com o tank, junta 02, na região crítica, objeto do estudo de caso. Falha detectada na inspeção visual pós brasagem,	38
Figura 5.8 - Chapa de compensação de temperatura e o cesto carregado com o lay out do teste 02.....	38
Figura 5.9 – Diagrama com resumo das informações do teste 03 (Objetivo, set point do forno, layout de carregamento, representação gráfica da temperatura, análise e resultado)	39
Figura 5.10 – Junta 02, filete de brasagem com comprimento maior que 0,8 mm, portanto dentro da especificação. Junta está aprovada.	40
Figura 5.11 – Junta 09, filete de brasagem com comprimento maior que 0,8 mm e parede do tubo apresenta de redução de espessura, portanto junta fora da especificação. Junta reprovada.....	40
Figura 5.12 – Diagrama com resumo das informações do teste 04 (Objetivo, set point do forno, layout de carregamento, representação gráfica da temperatura, análise e resultado)	41
Figura 5.13 – Junta 02, filete de brasagem com comprimento maior que 0,8 mm, portanto dentro da especificação. Junta está aprovada.	42
Figura 5.14 – Junta 09, filete de brasagem com comprimento maior que 0,8 mm e parede do tubo isenta de redução de espessura, portanto dentro da especificação. Junta está aprovada.....	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Tabela com todas as etapas de fabricação do condensador	14
Tabela 2.2 – Tabela com croqui das uniões brasadas do condensador para validação do processo de brasagem	15
Tabela 4.1 – Tabela com resumo de efeito e consequência após a alteração de algumas variáveis de processo.....	32

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	PROPOSTA DE ESTUDO.....	13
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
3.1	PROCESSO DE BRASAGEM	18
3.2	Molhabilidade	19
3.2.1	<i>Capilaridade.....</i>	<i>20</i>
3.3	Tensão residual	21
3.4	Liga de adição	21
3.5	Preparação das superfícies	22
3.6	Fluxos e atmosferas controladas	22
3.6.1	<i>Fluxos</i>	<i>22</i>
3.6.2	<i>Atmosferas controladas</i>	<i>23</i>
3.7	Métodos de brasagem	23
3.7.1	<i>Brasagem por tocha</i>	<i>23</i>
3.8	Brasagem em fornos	24
3.9	Alumínio.....	25
4	PROCESSO EXPERIMENTAL	26
4.1	MATERIAIS E MÉTODO	26
4.1.1	<i>Preparação da junta</i>	<i>26</i>
4.2	EQUIPAMENTO UTILIZADO	28
4.3	FLUXO.....	30
4.4	Monitoramento temperatura	30
4.5	Ensaio visual e Ensaio macroscópico.....	31
4.6	Condução do processo de validação do carregamento.....	31
5	RESULTADOS E ANÁLISES.....	33
5.1	PROPOSTA DO TESTE 01:.....	33
5.2	PROPOSTA DO TESTE 02:.....	37
5.3	PROPOSTA DO TESTE 03:.....	39
5.4	PROPOSTA DO TESTE 04:.....	41
6	CONCLUSÕES	43
7	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	44

1 INTRODUÇÃO

O mercado automotivo no Brasil, por muitas décadas foi controlado por um grupo muito restrito de grandes montadoras que mantinham uma hegemonia em todo o mundo. Este forte domínio ocorria em função de uma questão política de fechamento absoluto às importações, que impunha normas e diretrizes não somente as questões das taxas de importação, limitando importação por empresa com cotas, e como consequência disso fazendo com que o acesso aos bens de consumo importados fosse muito difícil, não só por causa do preço, mas também pela dificuldade. Isto posto fica claro que o desfecho desta política era um mercado muito restrito, fechado e protecionista para com as empresas instaladas no país, por sua vez, o consumidor não tinha poder de barganha, já que a concorrência era baixa e haviam poucos modelos e marcas de veículos. Em meados dos anos noventa, houve a abertura do mercado brasileiro para as importações e incentivos fiscais foram oferecidos pelo governo, atraindo diversas montadoras que instalaram-se no país aumentando a competitividade do setor. Atualmente há dezenas de fábricas instaladas no país o que leva o consumidor à escolher entre uma variedade muito grande de produtos. Para as empresas da área automotiva que querem continuar sendo competitivos em um mercado muito concorrido, é importante aumentar o mix de produtos e, ao mesmo tempo garantir a qualidade. Uma alternativa encontrada pelos engenheiros de processo é tornar a linhas de fabricação de produtos existente em linhas flexíveis, capazes de aumentar o mix de produção e o principal desafio é fazer isso a um baixo custo e mantendo o mesmo padrão de qualidade.

Hoje em dia mais de 80% dos veículos têm ar condicionado e a tendência é aumentar esse percentual. A história dos sistemas de ar condicionado automotivo iniciou-se com a utilização do aquecedor, sendo que os primeiros tipos consistiam no duto de escapamento passando pelo compartimento de passageiros. O método de obtenção de ar quente fazendo-se o líquido de arrefecimento do motor passar através de um trocador de calor entrou em uso em meados da década de 50 nos Estados Unidos e depois se espalhou para os outros países. Nessa época até final da década de 60 eram unidades de resfriamento e aquecimento instaladas individualmente nos veículos. Início da década de 70 o sistema de ar condicionado evoluiu muito e até hoje produzimos o sistema com o conceito daquela época. O papel do A/C automotivo é contribuir para segurança do motorista e dos passageiros, aliviando-os em relação ao calor e ao frio e criando um ambiente agradável para dirigir.

Para atingir seus propósitos, o sistema de ar condicionado automotivo consiste principalmente dos seguintes componentes: Radiador de aquecimento (mais conhecido como Heater Core), sistema de ventilação (ventilador e dutos), evaporador (cooler), compressor, condensador, filtro secador, válvula de expansão, tubos e mangueiras. Para funcionamento o sistema necessita de um fluido refrigerante, que é uma substância que serve como fluido que circula através dos componentes funcionais do sistema de A/C para produzir o efeito de resfriamento pela absorção de calor.

O heater core (radiador de aquecimento), é o trocador de calor que possibilita o aquecimento do ar ventilado para o interior do veículo, através da passagem de água aquecida no seu interior (água proveniente do motor do veículo).



Figura 1.1 - Heater core.

Evaporador (Cooler), é o trocador de calor que possibilita a evaporação do fluido refrigerante ocorre no evaporador, possibilitando o resfriamento do ar que é ventilado para o interior do veículo.



Figura 1.2 –Evaporador.

O compressor aumenta a pressão e a temperatura do gás refrigerante reduzindo o volume da câmara de compressão. Os tubos e mangueiras armazenam e conduzem o fluido refrigerante através dos componentes. A válvula de expansão é o componente

que permite ao fluido refrigerante passar de uma região de alta pressão para uma região de baixa pressão, assim como regular o fluxo do mesmo.

O condensador é o trocador de calor que possibilita a condensação do fluido refrigerante, isto é, o fluido refrigerante torna-se líquido. Ele refrigera e liquefaz o fluido refrigerante a alta temperatura e alta pressão enviado pelo compressor. Posicionado na parte frontal do veículo, em frente do radiador. Em alguns casos o condensador pode possuir eletro ventilador incorporado.



Figura 1.3 –: Condensador.

Os componentes do condensador são unidos por brasagem e por ser um trocador de calor que trabalha em alta pressão, os filetes de brasagem têm importância fundamental na vida útil, deve estar isento de redução de paredes dos componentes, fenômeno de erosão e descontinuidades de brasagem, filetes menores que o especificado.

O objetivo deste estudo é apresentar fundamentação teórica do processo de brasagem de alumínio e suas ligas e estudo de caso para definição de carregamento de um novo produto em um cesto de brasagem para um forno de esteira com atmosfera de nitrogênio obtendo juntas com alta qualidade e filetes de brasagem dentro das tolerâncias especificadas para o processo.

2 PROPOSTA DE ESTUDO

As etapas do processo de fabricação do Condensador são preparação dos componentes, montagem Inicial, brasagem e montagem Final.

Sendo que a montagem inicial consiste em conformar aletas, montar o core, aramar-lo, a montagem dos tanques no core com grampos para posicionar para a correta brasagem e o recalque dos caps na colméia.



Figura 2.1 —: Novo produto, condensador. Produto acabado, com seus componentes explodidos ao lado.

Abaixo uma tabela com todas as etapas de fabricação do condensador com as etapas do processo, operações de fabricação e montagem e componentes utilizados na fabricação.

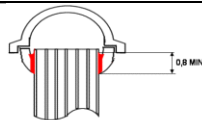
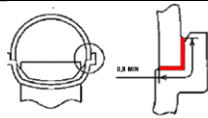
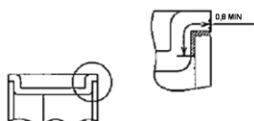
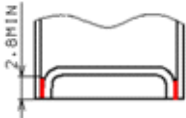
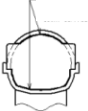
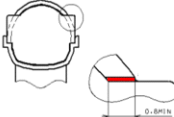
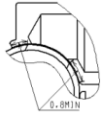
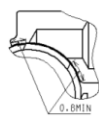
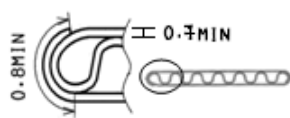

Tabela 2.1 – Tabela com todas as etapas de fabricação do condensador

Produto	Etapa do Processo	Operações	Componente
Condensador	Preparação de Componentes	Prensa	Tank
		Estufa desengraça	Plate Header Tank Tubo Separador Cap
		Fluxagem Binder	Plate Header
		Fluxagem Inner Fin	Tubo
		Estufa de Secagem	Tubo
	Montagem Inicial	Conformação e Paletização do Aletas	Aletas
			Pallet
		Montagem da Colmeia	Tubo
			Side Plate
			Plate Header
		Aramagem da Colmeia	JIG
			Arame
			Perfis
		Fluxagem Manual	Colmeia
		Montagem tank header	Solda Modulador
			Recalque dos Separadores
			Inserção do cap no modulador
			Solda Conectores
			Recalque dos Separadores
		Recalque Cap Tank	Componentes
	Brasagem	Fluxagem a Pé	
		Brasagem	
		Corte do Arame e Retirada dos grampos	
	Montagem Final	Teste de Entupimento e Teste de Vazamento	
		Solda Conectores	Montagem do Filtro comp.
		Teste de vazamento (He)	
		Montagem Final	
		Conjunto Condensador	

A base do processo de industrialização do condensador é a brasagem, é possível observar várias possibilidades de ganhos, tanto na qualidade das uniões quanto na redução dos custos. Nos últimos anos, com o aumento de mix de produção de automóveis as tecnologias de componentes, ligas de alumínio, *clad* e fluxo tem apresentado um desenvolvimento significativo, e novos recursos têm sido utilizados.

O estudo em questão traz fundamentação teórica do processo de brasagem, e o objetivo principal do trabalho é definir um layout de carregamento das peças de um novo condensador no cesto de brasagem do forno através de monitoramento da temperatura e tempo de exposição das peças. A validação consiste em uma bateria de testes de brasagem, onde são brasados alguns lotes pilotos buscando o carregamento do cesto ideal no forno, e é feito diversos cortes no condensador para analisar as juntas que estão discriminadas na tabela. Essas juntas brasadas têm que estar dentro da especificação que são filetes de brasagem com no mínimo 0,8 mm de comprimento e por ser uma componente que trabalha em alta pressão devem ser isento de redução de parede nos tubos, ou seja prevenir o fenômeno de erosão.

Tabela 2.1 – Tabela com croqui das uniões brasadas do condensador para validação do processo de brasagem

Nº	CROQUI	DISCRIMINAÇÃO	ESPECIFICAÇÃO
1		Extensão do filete entre tubo e plate header	Filete de brasagem com comprimento mínimo 0,8 mm
2		Extensão do filete entre tank header plate header	Filete de brasagem com comprimento mínimo 0,8 mm
3		Extensão do filete entre cap e plate header	Filete de brasagem com comprimento mínimo 0,8 mm
4		Extensão do filete entre modulador e cap do modulador	Filete de brasagem com comprimento mínimo 0,8 mm
5		Extensão do filete entre separador e tank/plate header	Filete de brasagem com comprimento mínimo 0,8 mm
6		O filete de brasagem entre o separador e o tank header	Filete de brasagem com comprimento mínimo 0,8 mm
7		Extensão do filete entre tank header e conector	Filete de brasagem com comprimento mínimo 0,8 mm
8		Extensão do filete entre tank header e conector	Filete de brasagem com comprimento mínimo 0,8 mm
9		Extensão do filete entre tank header e modulador	Filete de brasagem com comprimento mínimo 0,8 mm Isento de redução da espessura do tubo.
10			Filete de brasagem com comprimento mínimo 0,8 mm

Para efeito de estudo de caso vamos analisar as juntas mais propicias a filetes fora do especificado. As juntas críticas para falha de brasagem são as juntas 2 da tabela 01 (falha de brasagem plate header x tank) que ficam localizada na parte com maior massa da peça, a parte fria (porção da peça que leva mais tempo ao chegar ao

equilíbrio térmico) e para as juntas 9 da tabela 01 (erosão no tubo), que ficam localizadas na parte com menor massa da peça, a parte quente (porção da peça que chega rápido a temperatura de brasagem).

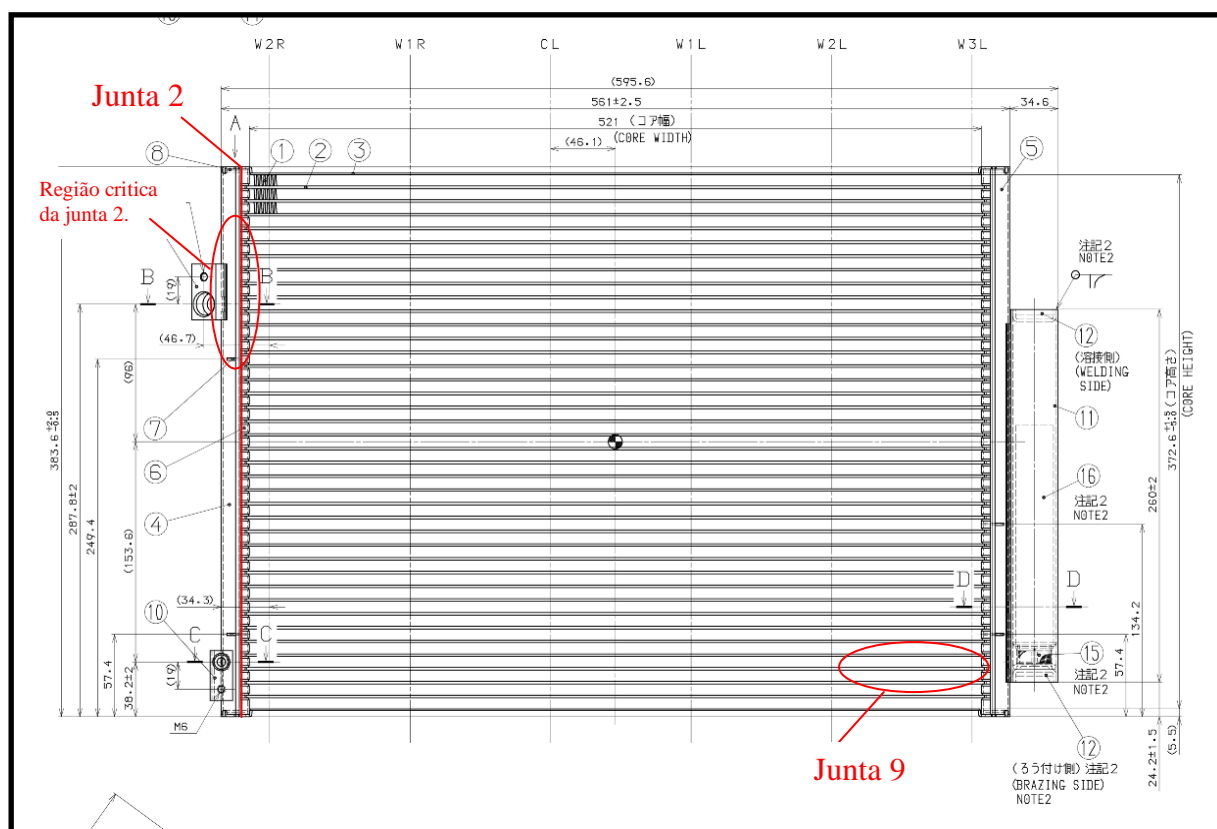


Figura 2.2: Desenho do condensador com as juntas críticas para a brasagem destacadas em vermelho.

No processo de fabricação dos condensadores em estudo as ligas utilizadas são em alumínio-silício (BA 4343 com 7% de silício para as aletas e BA 4045 com 10 % de silício para os tubos) e ele é brasados em forno contínuo tipo esteira sob atmosfera de nitrogênio, em regime estacionário cuja a relação tempo x temperatura de exposição alvo para o processo é de três a seis minutos entre aproximadamente quinhentos e noventa a seiscentos graus Celsius para liga hipoeutética, com aplicação de fluxo com pincéis nos tanques e aplicação de fluxo a pó na parte interna dos tubos e entre as aletas e tubos, fluxo *Nocolok flux brazed condenser*, o espaçamento utilizado entre os componentes brasados é de um décimo de milímetro e essa folga é garantida com grampos e arames posicionados no core durante o processo de montagem inicial.

A brasagem dos condensadores é feita em três peças por cesto de brasagem. O cesto de brasagem é feito em aço inoxidável e as varetas que apoiam as peças são feitas em carbono, essa seleção de materiais são baseadas na temperatura que ficaram expostos dentro do forno, pesam de 38,5 Kg a 40 Kg, dimensões 1,20m x 0,95m, têm

dois níveis onde são carregadas duas peças na parte inferior e uma peça na parte superior, essa seleção é em função da posição dos queimadores do forno e visa uma distribuição e posterior equilíbrio de temperatura sem picos e com menor variação possível de temperatura no corpo da peça.

Os cestos de brasagem ficam sobre uma esteira que roda todo o forno e com a velocidade controlada de 830 mm/min, além disso o espaço entre um cesto e outro é de 900mm. A atmosfera de nitrogênio é monitorada com controladores e entre as câmaras existem cortinas para evitar a entrada de oxigênio.

O forno de brasagem é dividido por zonas: zona de desengraxe (250°C), zona de pré aquecimento (595°C a 605°C), zona de brasagem (608°C a 620°C) e as zonas de resfriamento a água e a ventilação.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 PROCESSO DE BRASAGEM

A brasagem é provavelmente a técnica mais antiga conhecida para a junção de materiais distintos, e historicamente seu desenvolvimento acompanhou a própria evolução dos materiais. *Brazing Handbook*, 1991 revela que existem evidências datadas de 1475 A.C. que indicam o uso de mistura de metais e agentes de redução orgânicos usados como ligas de adição para brasar materiais que continham como metais base o Au ou Ag, para fabricação de jóias, sendo utilizado até os dias de hoje.

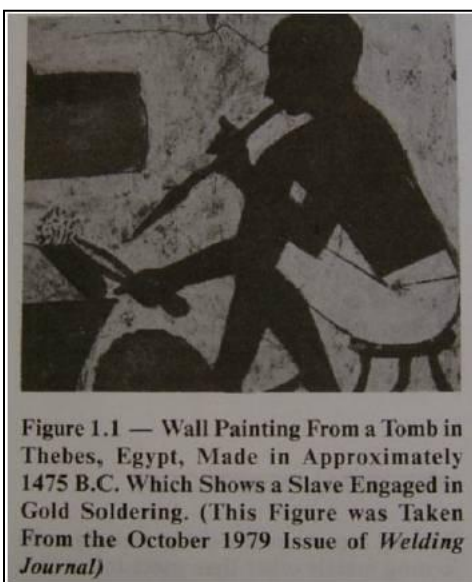


Figura 3.1: Pintura de parede de uma tumba em Tebas, no Egito, feito em aproximadamente 1475 aC, Que mostra um escravo envolvido em brasagem com ouro. (*Brazing Handbook*, 1991).

A brasagem é tida como um processo especial de soldagem, onde é possível obter uma união química e mecânica entre materiais com propriedades distintas para se obter uma junta com propriedades de ambos. Tal junção ocorre quando o metal de adição, em estado líquido, se distribui pela superfície dos materiais base, que estão muito próximas uma da outra, reagindo com os materiais base, formando compostos estáveis no resfriamento. O processo é definido pela American Welding Society (AWS) como “um conjunto de processos que produz a coalescência dos materiais aquecendo-os a uma temperatura adequada e usando uma liga de adição que possui a temperatura de fusão acima de 450°C e abaixo da temperatura de fusão dos materiais base. *Brazing Handbook*, 1991 cita que a liga de adição é distribuída entre os materiais base por efeito capilar. A Figura 3 ilustra esquematicamente um processo de brasagem.

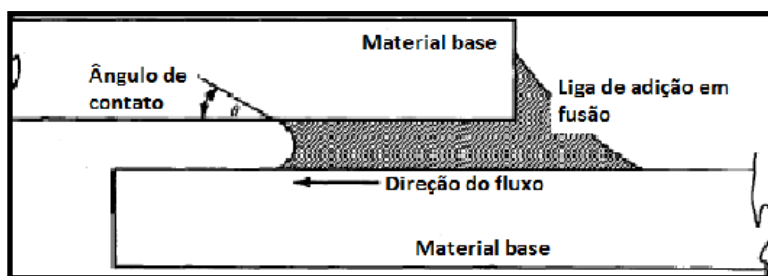


Figura 3.2: Simplificação de um processo de brasagem. Fonte: adaptado de *Brazing Handbook* (1991)

No processo de brasagem, a temperatura do conjunto a ser brasado é elevada ao ponto onde a liga de adição se torna líquida e preenche a folga entre os materiais base. O processo de brasagem apresenta características peculiares, com certas vantagens sobre os processos convencionais de soldagem: estas incluem junções mecanicamente resistentes, preenchimento total do espaço entre os materiais base pela liga de adição e é o processo recomendado para união de partes inacessíveis por outros processos, bem como para peças que apresentam uma geometria sofisticada. Os fenômenos de molhabilidade e fluxo de um líquido sobre a superfície de um sólido são conceitos básicos para a maioria dos modelos desenvolvidos para descrever a formação de uma junta brasada. *Brazing Handbook*, 1991 e WIKIPÉDIA, consultado em outubro de 2013 destacam que o “molhamento” dos materiais base pela liga de adição é necessário para prover contato entre ambos e desenvolver a ligação necessária. As forças motrizes para a ocorrência destes fenômenos são caracterizadas pelos conceitos de energia livre de superfície e energia livre para formação de fases que podem resultar das reações químicas que ocorrem durante a brasagem. *Brazing Handbook*, 1991 destac também que após o estabelecimento das condições de molhabilidade, forças capilares produzem o fluxo da liga de adição, e age para preencher o espaço vazio entre os materiais base.

3.2 MOLHABILIDADE

Catálogo Brastak, 2008 e *Brazing Handbook*, 1991 definem que a molhabilidade é definida como a tendência de um fluido aderir ou se espalhar preferencialmente sobre uma superfície sólida em presença de outra fase imiscível. Fatores importantes para determinar-se a extensão da molhabilidade podem ser ilustrados pelo problema de uma gota líquida em contato com uma superfície sólida plana. No caso ideal, onde não há reações químicas entre as fases sólida, líquida e gasosa, e onde forças gravitacionais

podem ser ignoradas, a gota irá assumir uma configuração de equilíbrio imposta pelas considerações da energia livre de superfície. O formato da gota é unicamente caracterizado por Θ (Figura 4), que é o ângulo de contato com o sólido [1]. A relação entre o ângulo de contato e as energias livre de superfície nas interfaces líquido-vapor (γ_{LV}), sólido-vapor (γ_{SV}) e sólido-líquido (γ_{SL}) é expressa por: $\cos \Theta = (\gamma_{SV} - \gamma_{SL}) / \gamma_{LV}$. O contorno entre as condições de molhabilidade e não-molhabilidade é geralmente tomado como $\Theta = 90^\circ$. Para $\Theta < 90^\circ$, ocorre molhabilidade, enquanto $\Theta > 90^\circ$ representa a condição oposta [1]. Quando $\Theta = 0$, temos a condição ideal, onde a molhabilidade da liga de adição sobre a superfície do metal base é total.

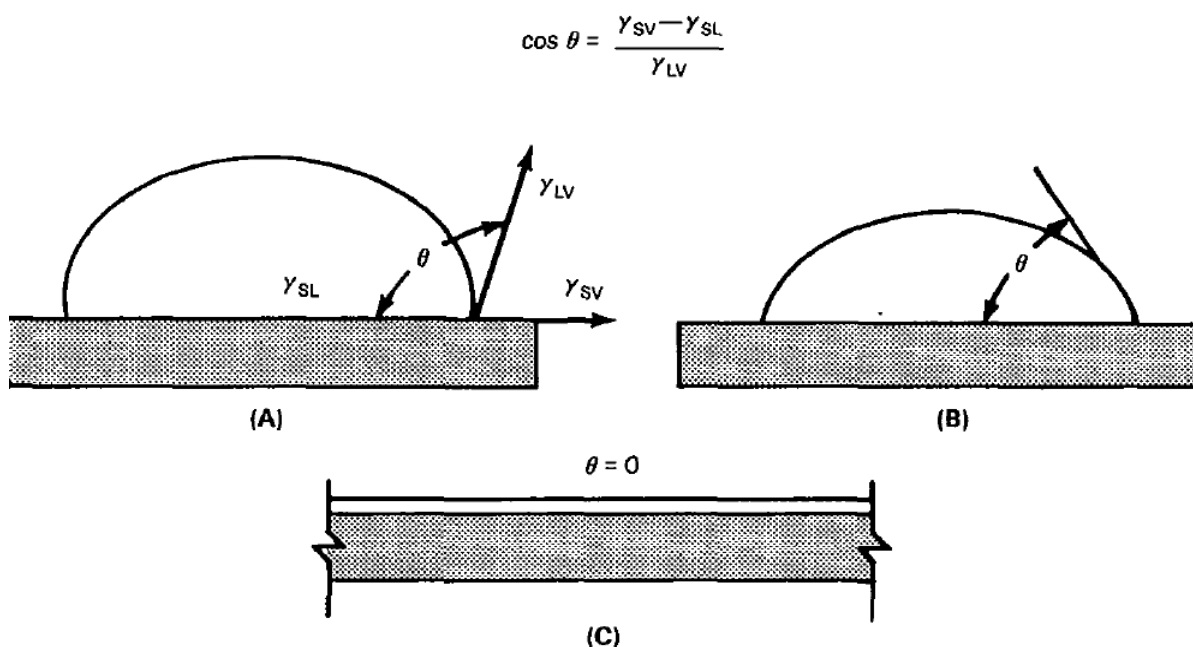


Figura 3.3 - Ângulo de contato entre a liga de adição e o material base. Fonte: *Brazing Handbook* (1991)

Brazing Handbook, 1991 destaca também que é importante entender que as energias livres de superfície do sólido e do líquido podem ser extremamente afetadas pela absorção de impurezas [1]. Todas as superfícies reais de líquidos e sólidos são afetadas em alguma extensão pela absorção de impurezas e possível oxidação.

3.2.1 Capilaridade

A capilaridade é uma propriedade intrínseca dos fluidos, que faz os mesmos escoarem por tubos ou vãos extremamente finos. WIKIPÉDIA, consultado em outubro de 2013 revela que se o tubo que estiver em contato com esse fluido for fino o

suficiente, a combinação de tensão superficial, causada pela coesão entre as moléculas do líquido, com a adesão do líquido à superfície deste material, irá fazer com que haja fluxo do fluido pelo mesmo. Wikipédia, consultado em outubro de 2013 cita que a força de adesão é a atração entre as moléculas do líquido e do sólido, enquanto a força de coesão é a atração entre moléculas semelhantes, ou seja, entre as moléculas do líquido, atuando para manter o mesmo em sua forma original, se a força de adesão for superior à de coesão, o líquido então irá “molhar” o sólido. As experiências mostram que o fluxo da liga de adição é uma função da força motriz de capilaridade, da viscosidade e densidade da liga de adição em estado líquido, assim como da geometria da junta. A temperatura possui uma forte influência sobre a viscosidade. *Brazing Handbook*, 1991 destaca que então o fluxo pode ser otimizado pelo aumento da temperatura de brasagem, até o ponto onde há o início da erosão de um dos materiais base.

3.3 TENSÃO RESIDUAL

Quando dois materiais base diferentes podem ser unidos por brasagem, pode haver tensões residuais no final da operação, pois há diferença nos coeficientes de expansão térmica entre ambos. A tensão residual é produzida durante o resfriamento desde a temperatura de brasagem até a temperatura ambiente, pois os componentes se retraem a taxas diferentes. Quando os coeficientes de expansão térmica dos materiais a serem unidos são muito diferentes, esta tensão residual pode ser suficiente para causar uma deformação ou trincas nos materiais do conjunto brasado. *Brazing Handbook*, 1991 diz que esta tensão pode ser controlada até certo ponto por um resfriamento programado, promovendo assim o relaxamento dos materiais envolvidos.

3.4 LIGA DE ADIÇÃO

A liga de adição, como definida pela AWS, é um “metal ou liga a ser adicionado para se promover a brasagem”. Para o uso eficaz das mesmas, deve-se levar em consideração os seguintes fatores:

- Compatibilidade com os materiais base, afim de que ocorra uma molhabilidade adequada dos mesmos com a mínima ocorrência de erosão sobre as superfícies, no caso de alumínio a erosão pode ser considerada inerente ao processo.

- Verificar se a mesma possui uma fluidez adequada na temperatura de brasagem, garantindo assim a ação da capilaridade e promovendo a distribuição da liga sobre as superfícies dos materiais base.

- Brazing Handbook, 1991 destaca a habilidade para formar juntas brasadas possuidoras de propriedades mecânicas concordantes à aplicação desejada.

- Brazing Handbook, 1991 destaca também a composição suficientemente homogênea e estável, minimizando a separação dos constituintes liquefeitos nas condições de brasagem e vaporização prematura de elementos de baixo ponto de fusão.

3.5 PREPARAÇÃO DAS SUPERFÍCIES

A garantia de uma brasagem uniforme e resistente depende não apenas da liga de adição, do design da junta e os materiais base da mesma. Outro fator de extrema importância a ser observado é a limpeza de todas as superfícies envolvidas no processo, que devem estar livres da presença de óxidos, graxas, ou de qualquer outra impureza. Qualquer tipo de impureza reflete negativamente no processo de capilaridade, prejudicando a molhabilidade dos materiais base pela liga de adição. Pode ser feita limpeza mecânica, como lixamento, ou química, utilizando solventes, no caso do alumínio a presença de óxido é inevitável, impossível conseguir a remoção da camada de óxido com limpeza mecânica ela se forma novamente imediatamente após a limpeza quando expostos a atmosfera, nos condensadores é utilizado a aplicação de fluxo para remoção da camada, ele reage a determinada temperatura dentro do forno, com atmosfera de nitrogênio assim deixando a superfície livre de óxidos.

3.6 FLUXOS E ATMOSFERAS CONTROLADAS

3.6.1 Fluxos

O fluxo é indispensável para combinar com, remover, ou dissolver compostos residuais ou produtos da operação de brasagem que, de uma forma ou outra, poderiam prejudicar o “trabalho” da liga de adição. A dissolução e remoção destes durante a brasagem são as funções mais comuns desempenhadas pelos fluxos. A molhabilidade e viscosidade são propriedades que devem ser verificadas na escolha de um fluxo a ser utilizado na temperatura de brasagem (Brazing Handbook, 1991).

Para os condensadores são utilizados *Nocolok flux brazed condenser*, entre todas as características benéficas, este fluxo não é corrosivo e não apresenta desgaste com gases de refrigeração, sendo assim eliminando a necessidade de remoção do fluxo após a brasagem.

3.6.2 Atmosferas controladas

Atmosferas controladas são usadas durante a brasagem para prevenir a formação de óxidos ou outros compostos indesejáveis. Se óxidos já estiverem presentes na superfície do material base, a atmosfera escolhida também pode ser hábil na remoção dos mesmos, permitindo que a liga de adição “molhe” e tenha uma boa fluidez sobre a superfície. Brasagem com atmosfera controlada é largamente utilizada para produção de juntas de alta qualidade. É um método muito utilizado para brasagem em fornos (Catálogo Brastak, 2012). Estas atmosferas podem ser H₂, monóxido de carbono, dióxido de carbono, nitrogênio, vapor de água, oxigênio, CH₄, vapores inorgânicos, gases inertes e vácuo (Brazing Handbook, 1991).

3.7 MÉTODOS DE BRASAGEM

3.7.1 Brasagem por tocha

O calor necessário para a fusão e fluxo da liga de adição é fornecido por uma chama de gás combustível, como na figura 5. Isto inclui qualquer operação onde um gás combustível é queimado com oxigênio ou ar para formar uma chama que é usada diretamente para o aquecimento da junta a ser brasada. Para alumínio uso de fluxo é indispensável (Brazing Handbook, 1991).



Figura 3.4 - Exemplo de brasagem de tubo com plate utilizando a brasagem por tocha.

3.8 BRASAGEM EM FORNOS

É um processo no qual o conjunto a ser brasado, previamente preparado, é alocado no interior de um forno, como ilustrado pela figura 8. O mesmo é purgado com uma atmosfera gasosa. É então aquecido a uma temperatura acima da temperatura de fusão da liga de adição, mas não o suficiente para fundir os materiais base. A junta é então resfriada por métodos apropriados para minimizar as tensões residuais. American Welding Society, 1991, cita em *Brazing Handbook* que uma vantagem oferecida por este método é justamente a possibilidade de controlar todos os estágios de aquecimento e resfriamento com instrumentação computadorizada.

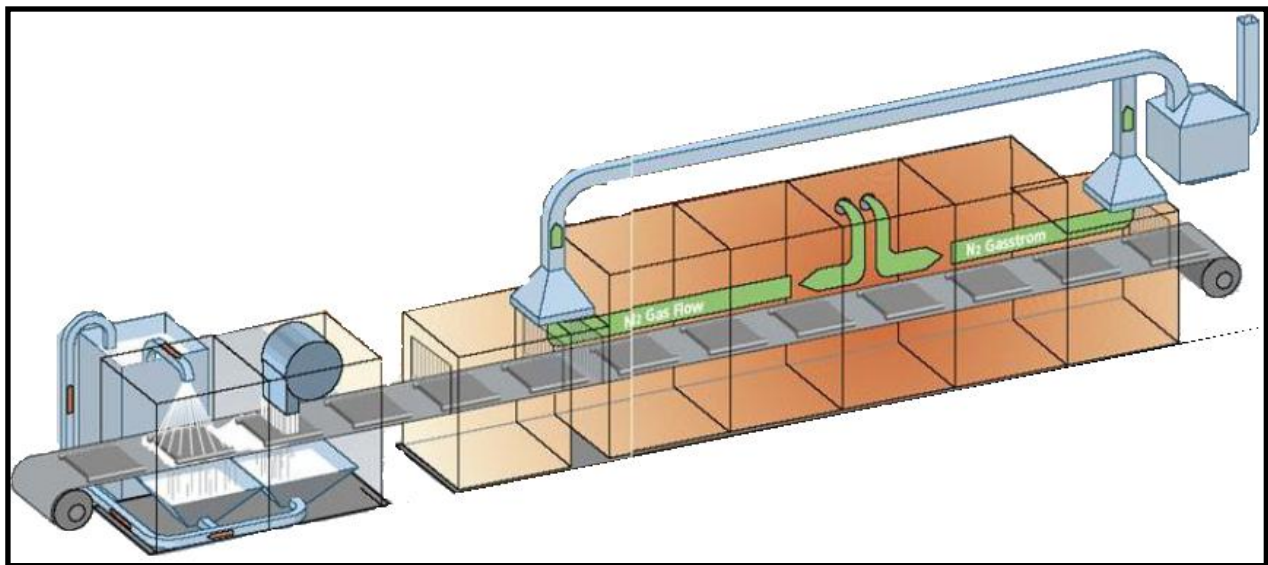


Figura 3.5 - Desenho esquemático de fabricação de condensadores de alumínio em com brasagem em forno contínuo tipo esteira sob atmosfera de nitrogênio.

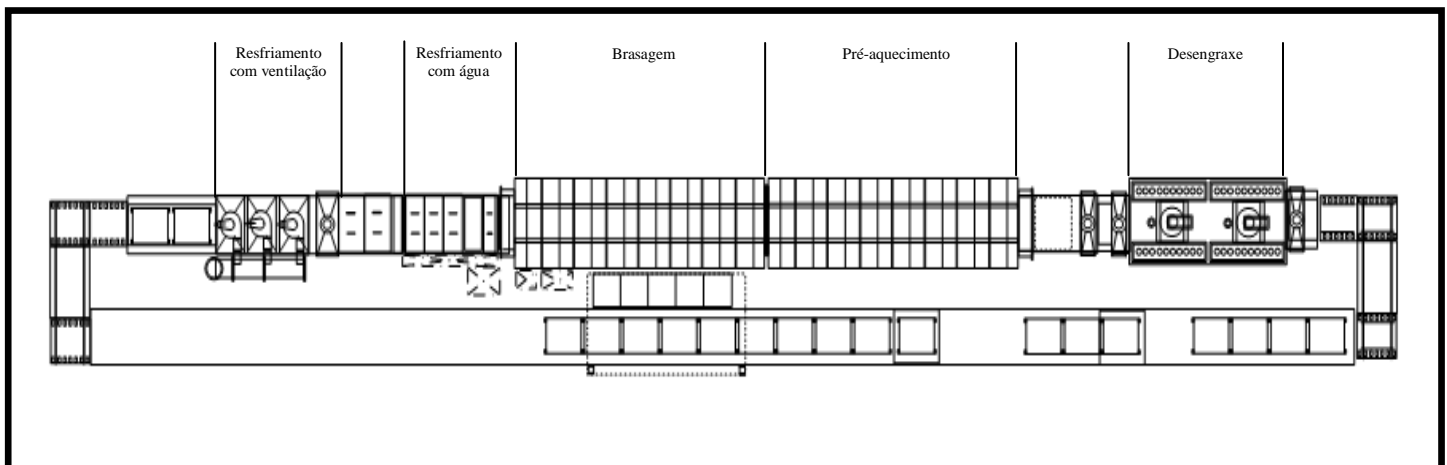


Figura 3.6 - Layout esquemático de forno contínuo tipo esteira sob atmosfera de nitrogênio, destacando as diferentes zoneamentos no forno.

3.9 ALUMÍNIO

Temperatura de fusão de 660°C. Pode ser unido através do processo de brasagem com ligas especiais de alumínio-silício (AW8 A5,1of92 ER4043 e ER4047) e fluxo específico. A brasagem torna-se impraticável quando o conteúdo de magnésio (Mg) ou silício (Si) é superior a 2%, pois as temperaturas das ligas de brasagem chegam muito próximas destas liga além de tornar a molhabilidade mais difícil. Nesses casos podem-se utilizar ligas de alumínio-zinco. A respeito das principais propriedades do alumínio puro é um metal que apresenta uma resistência mecânica relativamente baixa mas ductilidade elevada. Entretanto por meio da adição de um ou mais elementos de liga, a sua resistência pode ser substancialmente aumentada embora mantenha valores de ductilidade bastante aceitáveis. Como a maioria dos metais o alumínio perde a resistência em temperaturas elevadas. Já em baixas temperaturas a resistência do alumínio aumenta sem perda de ductilidade ou seja, a sua tenacidade não diminui com o decréscimo da temperatura sendo esta a razão do seu uso cada vez mais crescente em aplicações criogênicas.

4 PROCESSO EXPERIMENTAL

4.1 MATERIAIS E MÉTODO

4.1.1 Preparação da junta

A preparação das juntas é feita na montagem inicial, operação que precede a brasagem, ela consiste em basicamente quatro operações: conformação de aletas com a máquina denominada aletadora, montagem da core com o equipamento chamado de mesa de montagem, aramagem feito com a aramadora, e após isso a montagem dos tanks e caps que são feitas manualmente.

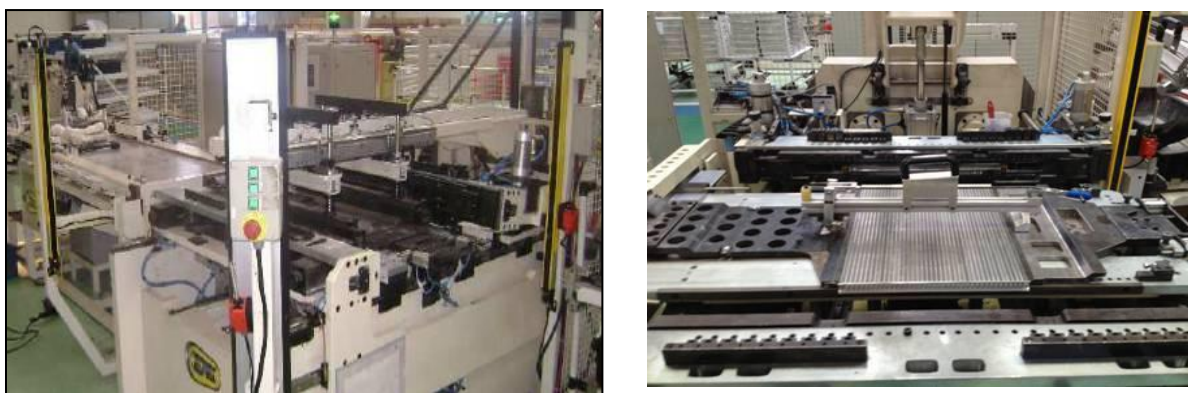


Figura 4.1 – A esquerda a mesa de montagem do core. A direita o core do condensadorem processo de montagem (inserção dos tubos no plate).



Figura 4.2 – Processo de aramagem do core do condensador, para garantir a folga entre aleta e tubo.

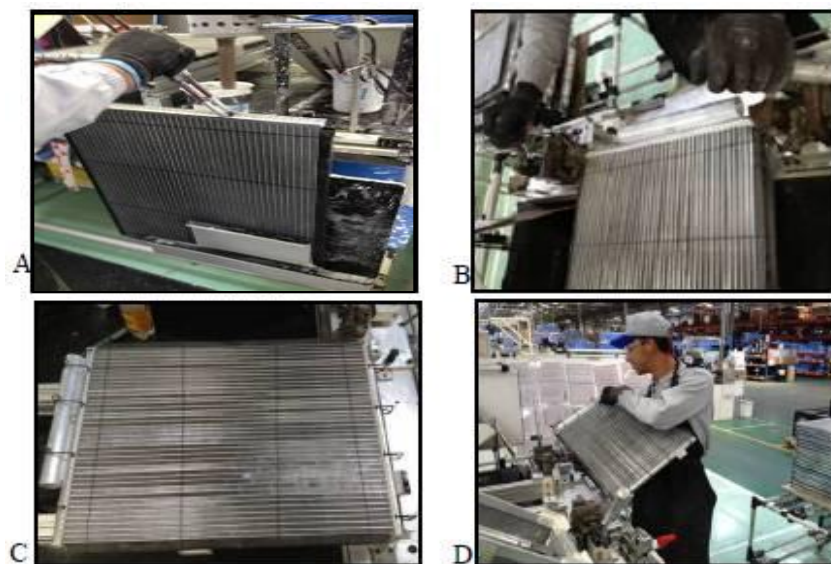


Figura 4.3 – A) Aplicação de fluxo com pincel. B) Juntas sendo preparadas para brasagem. C) Core do condensador preparado para brasagem com grampos e a arame garantindo as folgas. D) Inspeção pré brasagem, verificação das folgas e aplicação de fluxo.

Durante o processo de montagem é feita inspeção do dimensional dos componentes, montagem com grampos e arames e a checagem das folgas, para garantir um espaçamento ideal para a brasagem. Além disso ainda na montagem inicial é feita a aplicação de fluxo para aumentar a molhabilidade do *clad* e remover o oxido da superfície do metal base.



Figura 4.1 – Core do condensador preparado para brasagem com grampos e a arame garantindo as folgas.

4.2 EQUIPAMENTO UTILIZADO

Foi utilizado para a brasagem, forno KYK contínuo tipo esteira sob atmosfera de nitrogênio.

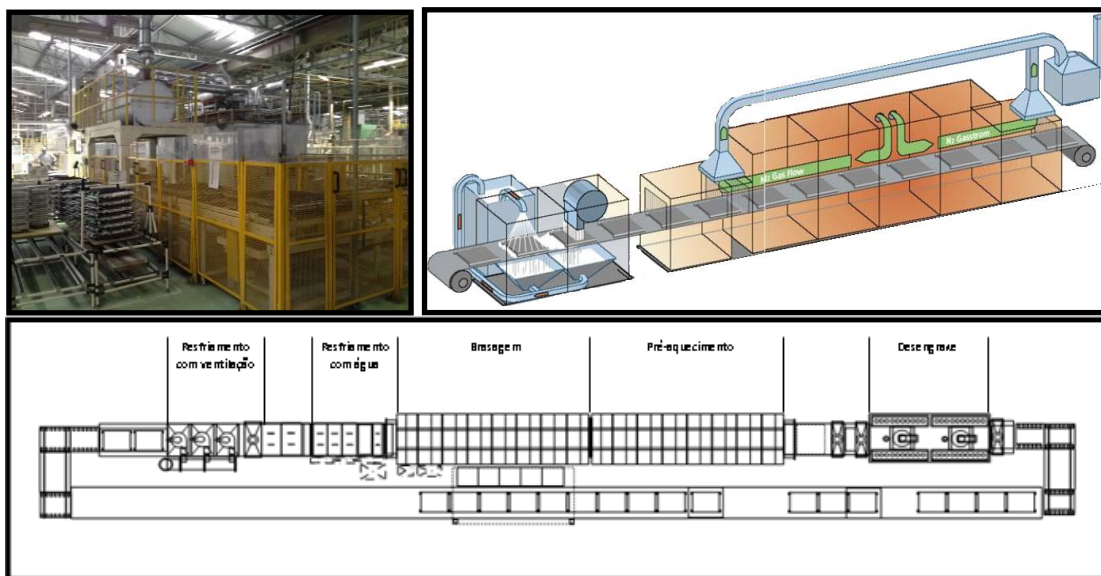


Figura 4.5 - Forno de brasagem, a esquerda a foto panorâmica do forno KYK, a direita uma figura esquemática do forno e em baixo o layout com as diferentes zonas no forno KYK.

Com as juntas já preparadas na montagem inicial, com folgas garantidas, com fluxo aplicado, o próximo passo é a operação de brasagem, para isso o forno deve ser carregado. A brasagem do novo condensadores é feita com três peças por cesto de brasagem e cesto de brasagem onde são carregadas duas peças na parte inferior e uma peça na parte superior.



Figura 4.6 – A esquerda cesto de brasagem. A direita o carregamento com a chapa de compensação desenvolvida para esse novo modelo em estudo.

Os cestos de brasagem ficam sobre uma esteira que roda todo o forno e com a velocidade controlada de 830mm/min, além disso o espaço entre um cesto e outro é de 900mm. O forno de brasagem é dividido por zonas: zona de desengraxe (250°C), zona de pré aquecimento (595°C a 605°C), zona de brasagem (608°C a 620°C) e as zonas de resfriamento a água e a ventilação.

NB1	Degreasing		Preheating Zone			Brazing Zone		
	1	2	1	2	3	4	5	6
Upper setting	250	250	595	605	605	620	611	608
Lower setting			600	610	615	620	611	605

Figura 4.7 –Set point do forno.

Para controle de temperatura na câmara de brasagem, com o objetivo de atingir a média de temperatura da peça em diferentes produtos com o mesmo *set point* do forno e a mesma velocidade de esteira, sabendo-se que o mix de produtos tem massas diferentes, são utilizados chapas de compensação de temperatura para buscar o carregamento ideal. Essa chapas são em aço inox e têm diferentes espessuras: 1,0 mm, 1,5 mm, 2,0 mm, 2,5mm e 3,0 mm. Em função de algumas particularidades do novo produto, foi necessário desenvolver um novo conceito de chapa de compensação de temperatura.



Figura 4.8 – Chapas de compensação de temperatura. *A esquerda chapa utilizada nas linhas de produção já consolidada. A direita chapa compensação de temperatura desenvolvida para o modelo em estudo.*

4.3 FLUXO

Para aplicação de fluxo nas juntas foi utilizado *Nocolok flux*, *Potassium aluminium fluor*, batch: BWF30502 drum:120 brazed em pó. Catálogo Brastak, 2012 cita que a preparação é uma solução em recipientes específicos com dosagens definidas da quantidade de fluxo e água desmineralizada. A aplicação é feita na montagem inicial do condensador com pincel.



Figura 4.9 – Fluxo de brasagem (*Nocolok flux brazed condenser*).

4.4 MONITORAMENTO TEMPERATURA

O monitoramento do tempo e da temperatura de exposição foi feita através de termopares fixados em diferentes pontos da peça, conforme figura abaixo, são fixados em diferentes pontos da peça com objetivo de analisar a média de temperatura que a peça é exposta, e os picos de temperatura para ver os pontos suscetíveis a falha. O sistema é composto também por um coletor de informações e de um software que converte as informações para uma interface conhecida.

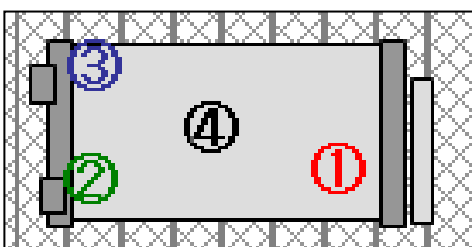


Figura 4.10 – Pontos de fixação dos termopares.



Figura 4.11 – Coletor de informações de monitoramento (*Datapaq*).

Figura 4.12 – Informações geradas na interface homem máquina para interpretação do monitoramento da curva de tempo e temperatura no forno de brasagem.

4.5 ENSAIO VISUAL E ENSAIO MACROSCÓPICO

Para avaliação da brasagem, no descarregamento do forno as peças são submetidas a ensaios visuais, para filtrar falhas grosseiras.

Para a realização dos ensaios macroscópicos, as peças aprovadas no ensaio visual de brasagem, são submetidas a cortes nos pontos definidos para validação, é preparada a superfície das amostras com lixamento na superfície até a granulação um mil e duzentos e feito o ataque químico com ácido fluorídrico 5% na seção transversal das juntas. O registro é realizado com câmera fotográfica convencional.

4.6 CONDUÇÃO DO PROCESSO DE VALIDAÇÃO DO CARREGAMENTO

Para o processo de validação de carregamento do forno foram selecionadas duas juntas para análise, as duas juntas mais críticas. Elas são consideradas críticas por ser na parte de maior massa da peça, junta 2 (tabela 01), e consequente menor temperatura e maior o risco de falha de brasagem, e outra junta na parte de maior temperatura na peça, junta 9 (tabela 01) com maior risco de erosão. É considerado falha de brasagem filetes de brasagem com comprimento menor que 0,8mm de comprimento, e por outro lado o tubo deve ser isento de falha de erosão. A erosão simplificada na prática é encarada como redução de espessura do metal base, no caso em análise no tubo, alguns princípios que aumentam a incidência da erosão são: difusão de silício, tamanho de grão do metal base, teor de silício entre o metal

base o clad, excesso de metal fundido, e principalmente no ponto que levamos em consideração no estudo de caso que são temperaturas elevadas. Outra falha que pode ocorrer é a falha de brasagem aleta, uma falha geralmente ocasionada por excesso de folga ente os componentes aleta e tubo.

Abaixo um quadro resumo efeito e consequência após a alteração da algumas das variáveis de processo:

Tabela 4.1 – Tabela com resumo de efeito e consequência após a alteração de algumas variáveis de processo

RESUMO		
↑ Temperatura	↑ Molhabilidade	↑ Risco de erosão
		↓ Falha de brasagem
↓ Temperatura	↓ Molhabilidade	↓ Risco de erosão
		↑ Falha de brasagem
Presença de fluxo	↑ Molhabilidade	X – X – X

Para definição do carregamento é feito um estudo teórico e comparativo com outros produtos existentes, levando em consideração temperatura do forno, tempo de exposição a temperatura e massa do conjunto, cesto de brasagem, massa da peça multiplicado pelo número de peças no cesto e a massa de chapas compensadoras de temperaturas quando necessário. No início do estudo partindo de um set point do forno e velocidade da esteira já definidos, essas variáveis são fixadas e utilizado os mesmos parâmetros das linhas de produção dos produtos existentes, isso para causar um menor impacto em todo o mix de produtos, e é definido um carregamento teórico para testes, esse modelo de carregamento é monitorado e plotado a curva tempo e temperatura de exposição e é brasado alguns lotes piloto para análise dos resultados e concluído o processo de validação com lotes maiores se o resultado for dentro do esperado. Se o resultado não atender as expectativas são elaboradas melhorias e métodos de contenção da falha e a nova condição é reavaliada até chegar em uma condição ideal.

5 RESULTADOS E ANÁLISES

Para facilitar a análise dos resultados foram diagramados em uma imagem todas as informações relevantes aos testes. Na imagem na parte superior está identificado qual teste está em discussão, e o objetivo proposto no teste do lado esquerdo está as variáveis do processo de brasagem, número 1 está o set point da temperatura do forno e logo abaixo a velocidade da esteira, número 2 está o layout de carregamento do cesto com as peças, representado os pontos que foram fixados os termopares e qual chapa de compensação de temperatura está sendo utilizada. Do lado direito têm os resultados, número 3 a representação gráfica dos dados coletados no monitoramento de brasagem e número 4 a análise das juntas definidas críticas para validação do carregamento de brasagem. Na parte inferior os resultados obtidos nos testes.

5.1 PROPOSTA DO TESTE 01:

Carregamento baseado no estudo teórico em comparação com os produtos correntes e levando em consideração o comportamento da relação tempo e temperatura para esse produto para se obter uma brasagem em uma faixa de temperatura onde não ocorram falhas na peça. Layout de carregamento com duas peças na parte inferior do cesto e na parte superior uma peça com duas chapas de compensação de temperatura de 2mm apoiada em cima do condensador.

TESTE 01

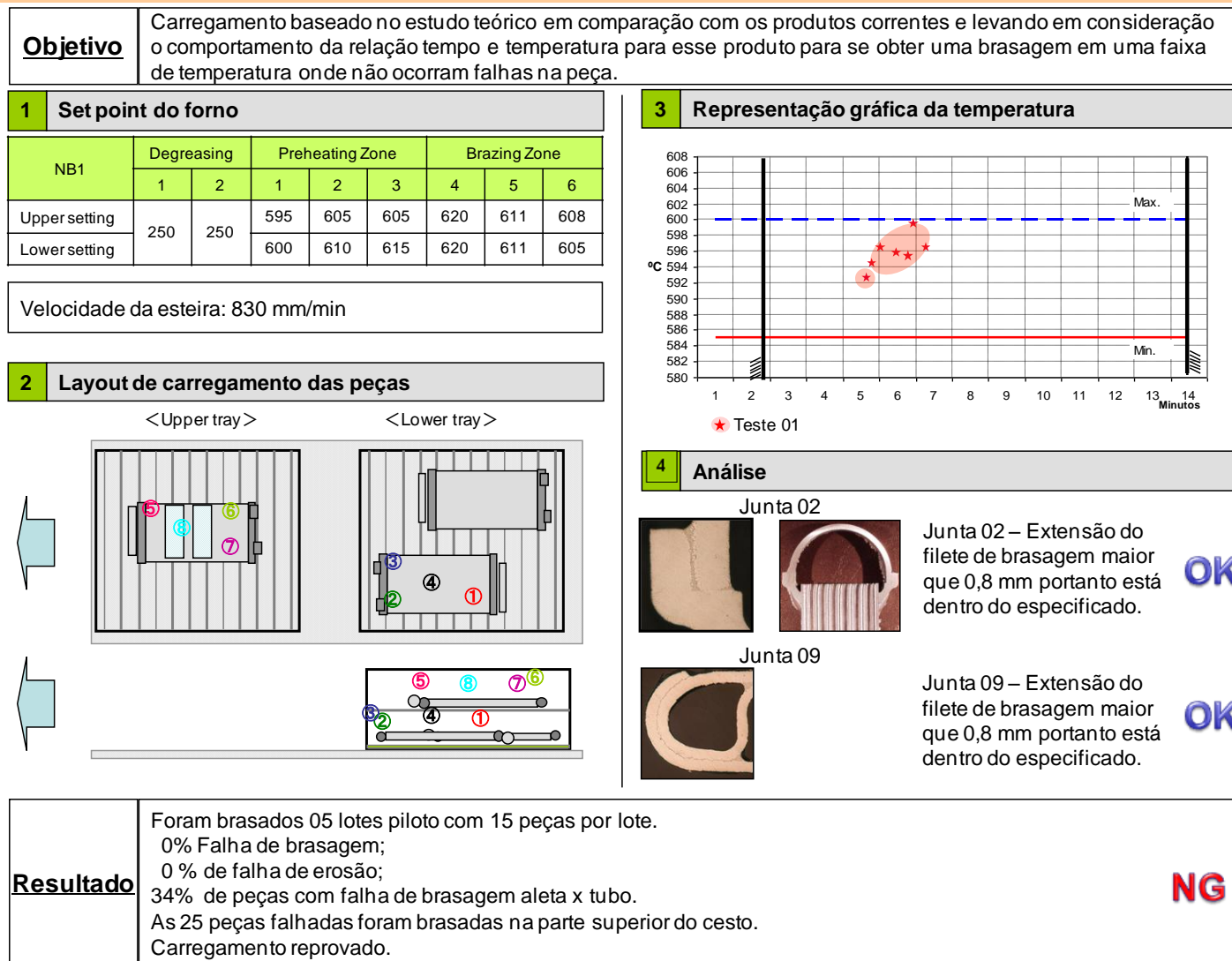


Figura 5.1 – Diagrama com resumo das informações do teste 01 (Objetivo, set point do forno, layout de carregamento, representação gráfica da temperatura, análise e resultado) .

ANÁLISE DO RESULTADO DO TESTE 01:

O primeiro teste realizado para avaliação da brasagem apontou que os estudos teóricos conduziam para uma solução correta, não houve falha de brasagem na junta 02, não houve erosão no tubo na junta 09, os filetes de brasagem não apresentaram descontinuidade fora do especificado. O ponto que causou discrepância entre a teoria e a prática foi a falha de brasagem aleta, uma falha já suprimida a tempos nos produtos de produção corrente, o que já era de conhecimento é que por ser um produto inovador, com um conceito novo de tubos, que para esse produto são tubos dobrados, com parede com espessura menor, ao

invés dos já utilizados a tempos tubos que são extrudados e isso torna muito mais suscetível a falhas.

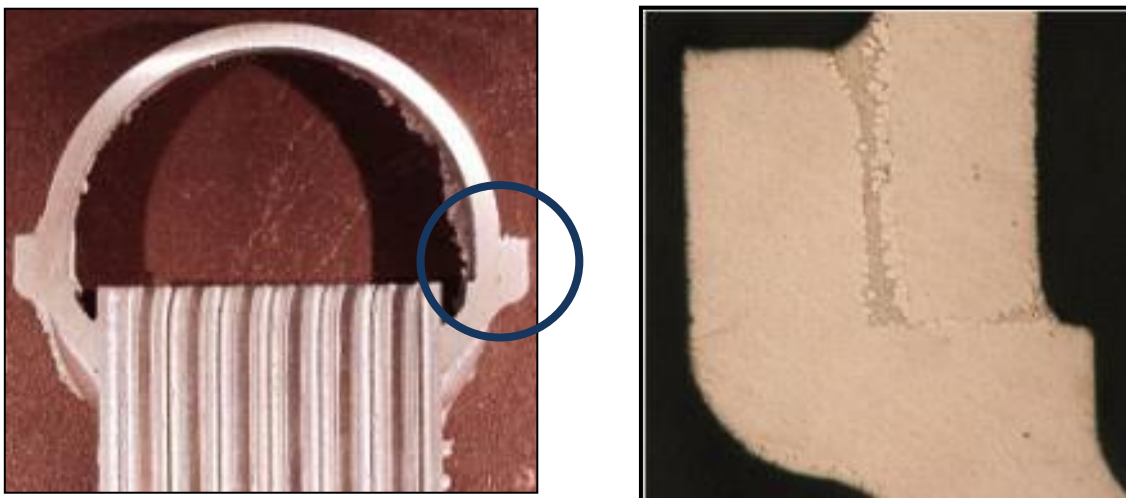


Figura 5.2 – Junta 02, filete de brasagem com comprimento maior que 0,8 mm, portanto dentro da especificação. Junta está aprovada.



Figura 5.3 – Junta 09, filete de brasagem com comprimento maior que 0,8 mm e parede do tubo isenta de redução de espessura, portanto dentro da especificação. Junta está aprovada.

Durante a bateria de testes ocorreu um índice muito alto de falha de brasagem aleta que era um item não previsto e o fato que mais chamou a atenção que as vinte e cinco peças falhadas, todas foram brasadas na parte superior do cesto e com muito estudo a conclusão foi que as chapas de compensação (Figura 14) de temperatura colocadas em cima da peça brasada na parte superior do cesto estava causando pressão sobre uma região e no momento que o conjunto é exposto

a temperatura quando a peça dilata e posteriormente contrai o espaçamento entre aleta e tubo não permite que as partes sejam unidas por ausência de contato ocasionado por restrição do movimento causada pela pressão exercida pelas chapas de compensação de temperatura.

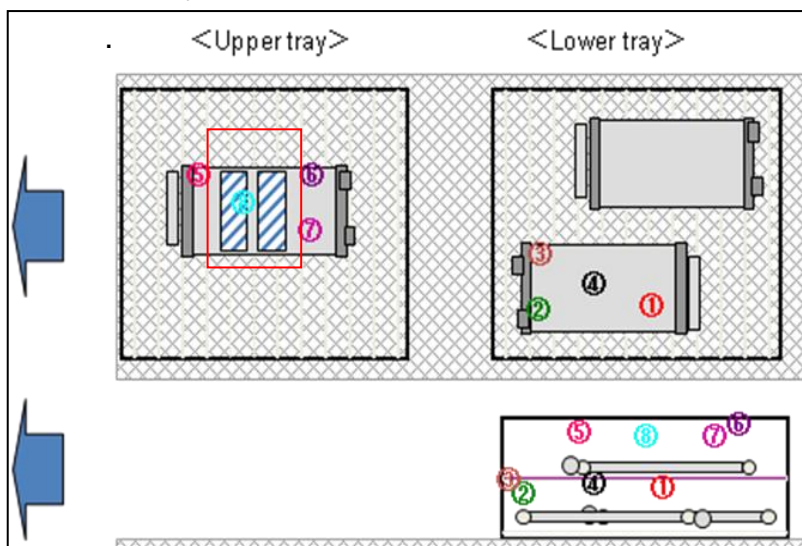


Figura 5.1 – Layout de carregamento utilizado no teste 01, com as chapas de compensação de temperatura destacadas em vermelho.

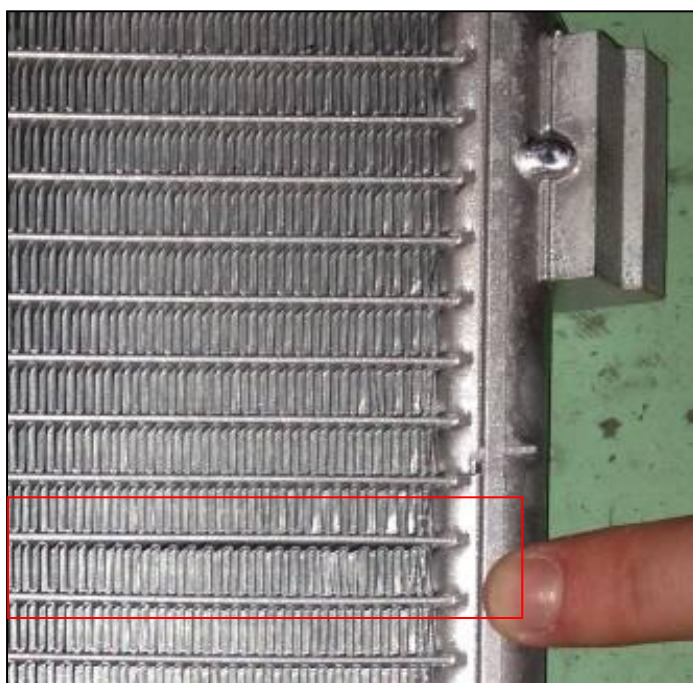
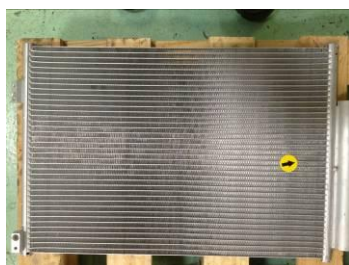


Figura 5.5 - Falha de brasagem aleta com o tubo, originada por folga excessiva entre os componentes.

5.2 PROPOSTA DO TESTE 02:

Carregamento baseado no estudo teórico e no resultado do carregamento do teste 01. O desafio para esse teste é de desenvolver uma chapa de compensação de temperatura que não tenha contato com as peças, que mantenham as peças com uma boa brasagem e que seja de rápida e fácil colocação e retirada. Para esse teste foi desenvolvido o projeto de uma chapa dobrada em aço inoxidável com recortes nas pontas que permitem o rápido encaixe das peças nos cesto de brasagem. A chapa não tem contato com a peça.

TESTE 02

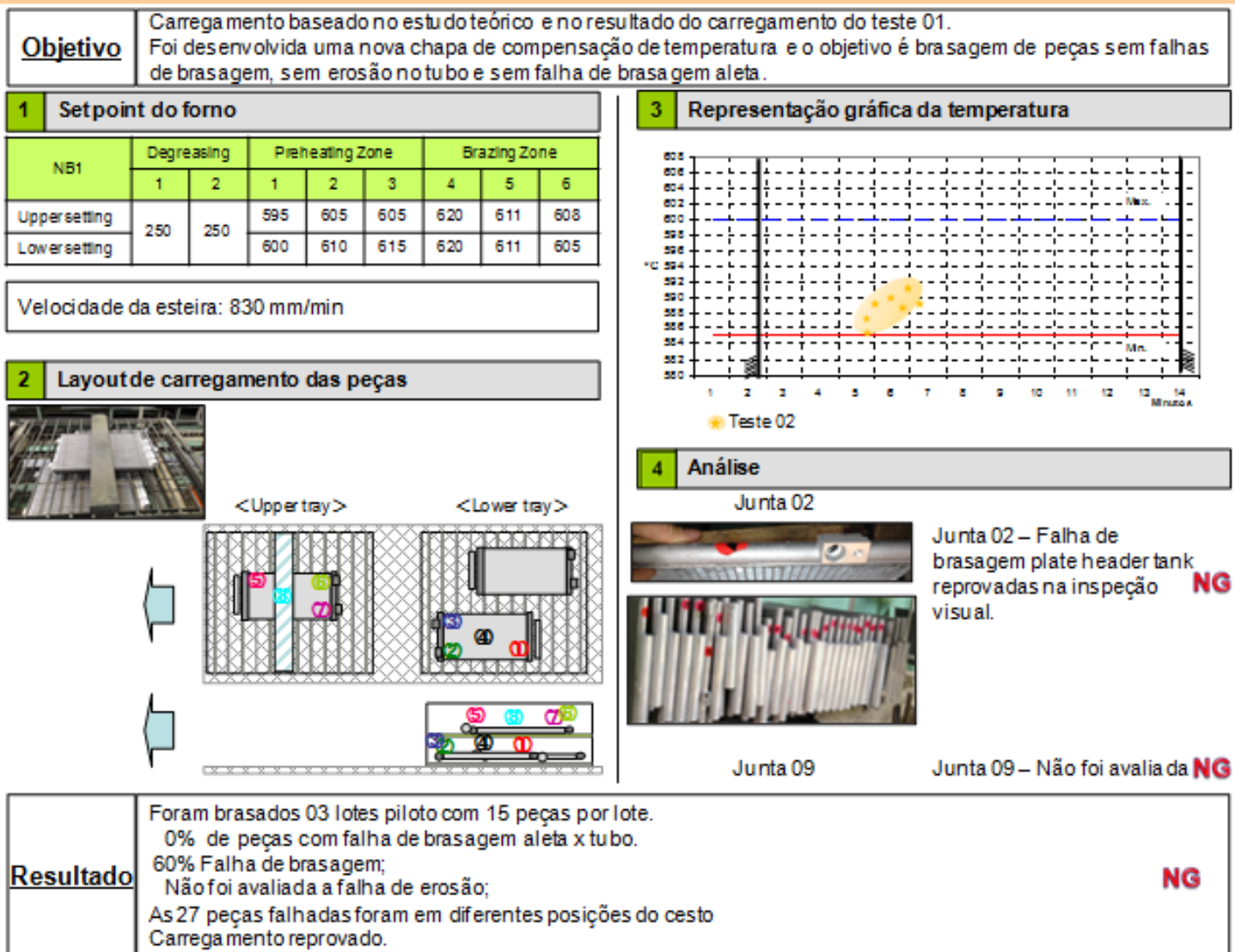


Figura 5.6 – Diagrama com resumo das informações do teste 02 (Objetivo, set point do forno, layout de carregamento, representação gráfica da temperatura, análise e resultado) .

ANÁLISE DO RESULTADO DO TESTE 02:

O resultado do teste dois foi sessenta por cento da produção com falha de brasagem grosseira entre plate header e tank, na junta 02, falhas detectadas na inspeção visual no descarregamento do forno, no gráfico de monitoramento da temperatura apontou uma média muito perto do limite inferior especificado. Mas por outro o ponto positivo lado zerou a falha de brasagem aleta com o tubo e apontou que as ações foram tomadas na direção correta. A proposta para o próximo teste é projetar um anteparo de compensação que tenha menos massa e dessa maneira elevar as médias de temperatura de brasagem e deixar em uma situação mais próxima do monitoramento de temperatura do teste 01.



Figura 5.7 - Falha de brasagem plate header com o tank, junta 02, na região crítica, objeto do estudo de caso. Falha detectada na inspeção visual pós brasagem,



Figura 5.8 - Chapa de compensação de temperatura e o cesto carregado com o lay out do teste 02.

5.3 PROPOSTA DO TESTE 03:

Levando em consideração o resultado do teste dois, a proposta para esse teste é fazer um carregamento similar ao que tem sido utilizado nos outros testes em relação a posição das colméias e com uma chapa de compensação de temperatura com menor massa.

TESTE 03

Objetivo

Para esse teste o objetivo é fazer um carregamento similar ao que tem sido utilizado nos outros testes em relação a posição das colméias e com uma chapa de compensação de temperatura com menor massa e avaliar a condição de brasagem.

1 Set point do forno

NB1	Degreasing		Preheating Zone			Brazing Zone		
	1	2	1	2	3	4	5	6
Upper setting	250	250	595	605	605	620	611	608
Lower setting			600	610	615	620	611	605

Velocidade da esteira: 830 mm/min

2 Layout de carregamento das peças

3 Representação gráfica da temperatura

2 Análise

Junta 02

Junta 09

Junta 02 – Extensão do filete de brasagem maior que 0,8 mm portanto está dentro do especificado. **OK**

Junta 09 – Foi constatado redução na parede e também furos no tubo proveniente do processo de erosão. **NG**

Resultado

Foram brasados 3 lotes pilotos com 15 peças por lote.
0% Falha de brasagem aleta com tubo.
0% Falha de brasagem plate header com tank;
6% Falha de erosão.
As peças falhadas foram em diferentes posições do cesto;

Figura 5.9 – Diagrama com resumo das informações do teste 03 (Objetivo, set point do forno, layout de carregamento, representação gráfica da temperatura, análise e resultado) .

ANÁLISE DO RESULTADO DO TESTE 03:

No resultado do teste três houve uma melhoria significativa no índice de falha de brasagem de sessenta por cento esse índice foi a zero, outro ponto importante foi a manutenção de zero por cento para falha de aleta com o tubo dando robustez na análise inicial e comprovando que a causa raiz foi atacada. Por outro lado como pode ser observado no gráfico de tempo de exposição a temperatura a média de temperatura subiu muito, com isso propiciou a erosão no tubo

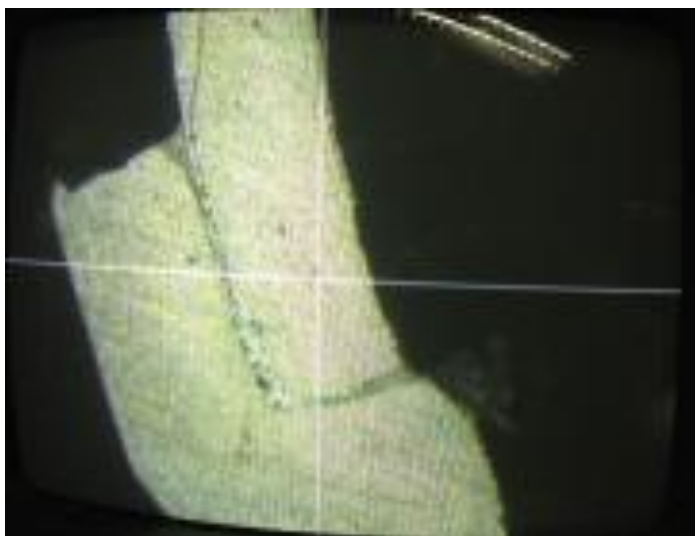


Figura 5.10 – Junta 02, filete de brasagem com comprimento maior que 0,8 mm, portanto dentro da especificação. Junta está aprovada.

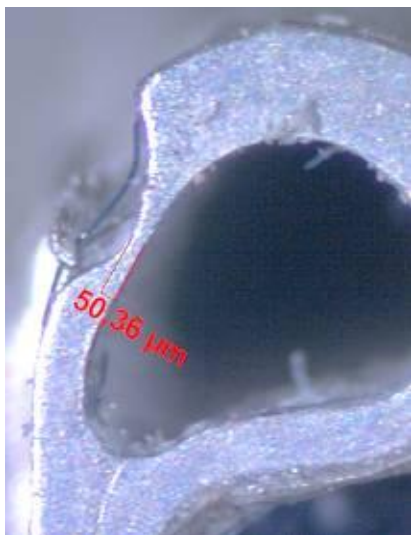


Figura 5.11 – Junta 09, filete de brasagem com comprimento maior que 0,8 mm e parede do tubo apresenta de redução de espessura, portanto junta fora da especificação. Junta reprovada.

5.4 PROPOSTA DO TESTE 04:

Analisando todos os testes anteriores leva a crer que a situação ideal é uma relação intermediária de modo de compensação de temperatura em relação aos anteparos utilizados no teste 02 e no teste 03, buscando uma temperatura média alvo que foi mantida no primeiro teste feito. Para isso a solução proposta foi diminuir a massa da chapa de compensação utilizada no teste 02 até chegar em uma condição ideal de brasagem. Para diminuir a massa foram feitos alívios na chapa de aço inoxidável, os furos ficaram alinhados no centro da chapa.

TESTE 04

Objetivo

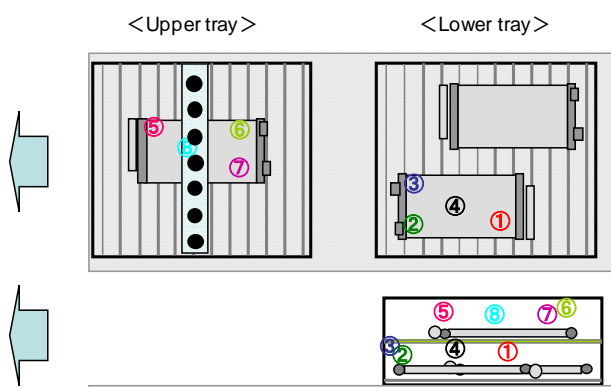
Para esse teste o objetivo é fazer um carregamento similar ao que tem sido utilizado nos outros testes em relação a posição das colméias e com uma chapa de compensação de temperatura com massa intermediária entre as utilizadas no teste 02 e teste 03, buscando o alvo de média de temperaturas utilizados no teste 01.

1 Set point do forno

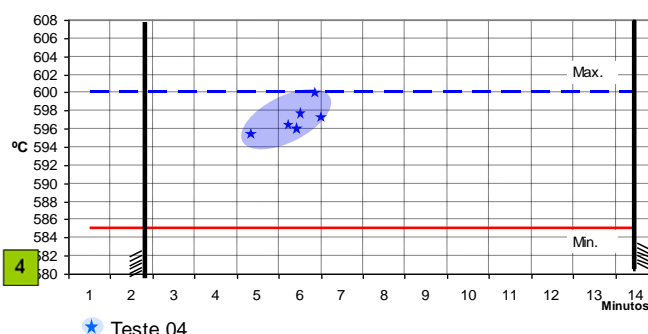
NB1	Degreasing		Preheating Zone			Brazing Zone		
	1	2	1	2	3	4	5	6
Uppersetting	250	250	595	605	605	620	611	608
Lowersetting			600	610	615	620	611	605

Velocidade da esteira: 830 mm/min

2 Layout de carregamento das peças



3 Representação gráfica da temperatura



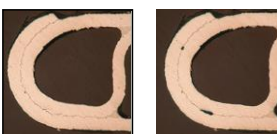
2 Análise

Junta 02



Junta 02 – Extensão do filete de brasagem maior que 0,8 mm portanto está dentro do especificado. **OK**

Junta 09



Junta 09 – Extensão do filete de brasagem maior que 0,8 mm portanto está dentro do especificado. **OK**

Resultado

Foram brasados 10 lotes pilotos com 15 peças por lote.
0% Falha de brasagem aleta com tubo.
0% Falha de brasagem plate header com tank;
0% Falha de erosão.
Carregamento aprovado;

OK

Figura 5.12 – Diagrama com resumo das informações do teste 04 (Objetivo, set point do forno, layout de carregamento, representação gráfica da temperatura, análise e resultado) .

ANÁLISE DO RESULTADO DO TESTE 04:

No resultado do teste quatro houve uma melhoria significativa em todos os índices monitorados, não houve falha de brasagem na junta 02, não houve erosão nas junta 09, os pontos críticos definidos tiveram um resultado dentro do especificado, a falha de brasagem aleta que ocorreu durante o primeiro teste foi contida com implementação da chapa de compensação de temperatura com furos para adequação da massa e contato com a pela.

No monitoramento de média de temperatura e tempo de exposição pode-se observar que foi mantida a média que foi calculada teoricamente, um excelente resultado.

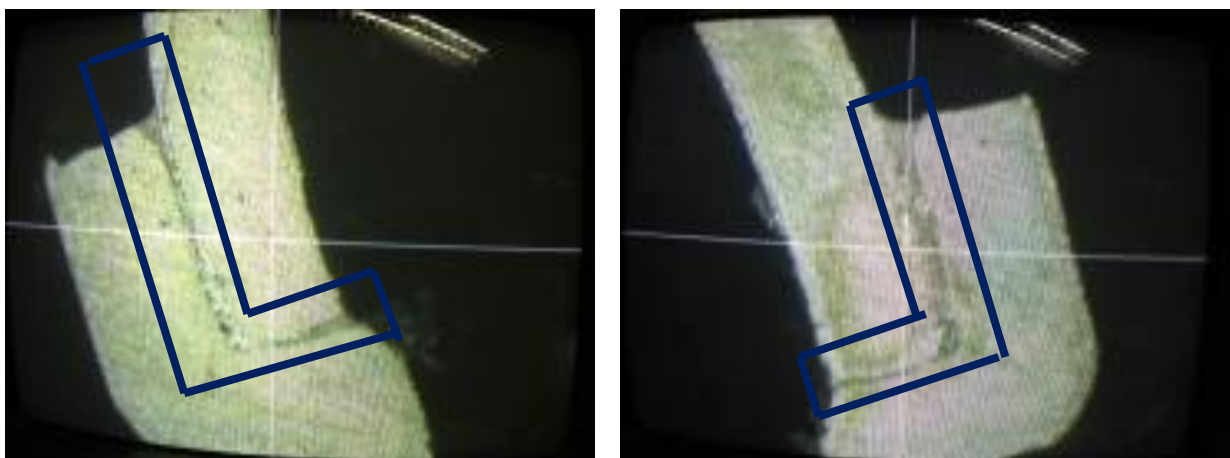


Figura 5.13 – Junta 02, filete de brasagem com comprimento maior que 0,8 mm, portanto dentro da especificação. Junta está aprovada.

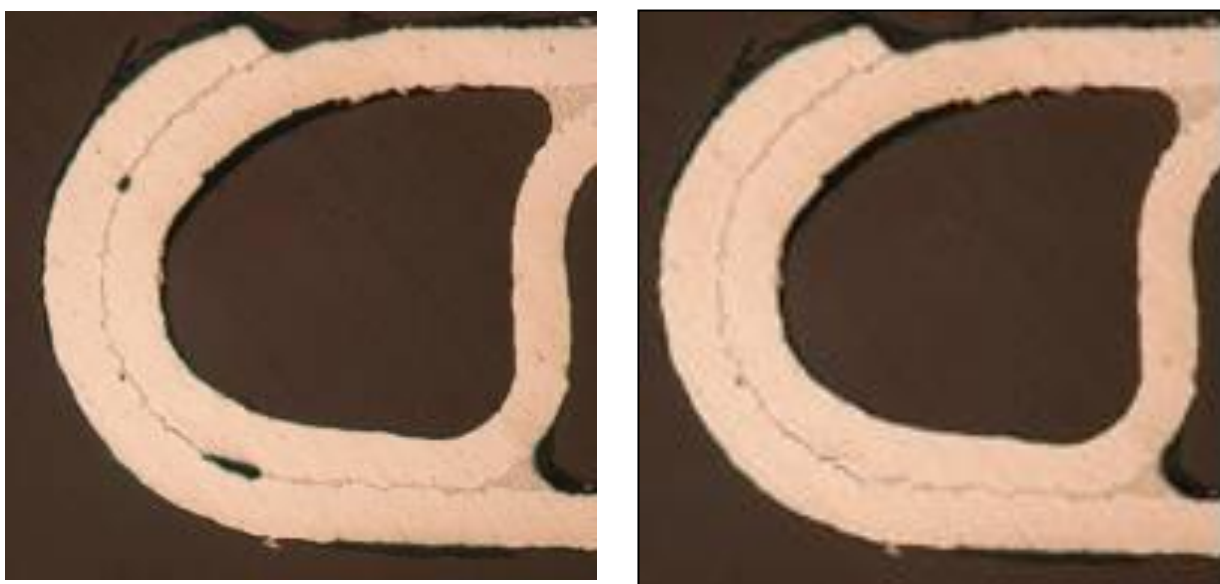


Figura 5.14 – Junta 09, filete de brasagem com comprimento maior que 0,8 mm e parede do tubo isenta de redução de espessura, portanto dentro da especificação. Junta está aprovada.

6 CONCLUSÕES

Ao concluir esse trabalho, pode-se mostrar que para a inclusão de um novo produto para fabricação em linhas flexíveis existente com grande mix é de extrema importância um estudo teórico bem fundamentado nos produtos similares, baseado no histórico registrado de falhas, ações e evolução que houve no período de validação das linhas já estabelecidas, robustas e também na experiência de pessoas envolvidas em outras validações.

Além disso é possível constatar que a análise e estudo teórico preliminar é fundamental e é ele que indica a direção a ser seguida para a validação da brasagem porém é uma etapa do processo que depende de experimentos práticos, uma bateria de testes porque são nos testes que revelam algumas variáveis que não são previstas nos estudos, irão aparecer os problemas a serem contidos e confirmarão se o trabalho feito na teoria está convergindo com o resultado propostos nos teste possibilitando uma tomada de decisão mais racional e objetiva. Tendo em vista o alto volume de produção de condensadores, mesmo pequenas economias, tornam-se significativas, e tomadas de decisões mais rápidas permitem reduzir custos de implementação e baixo impacto na linhas de vida série já estabelecidas.

O resultado dos testes foi muito satisfatório, o resultado final consolidação de um carregamento ótimo, muito próximo das médias de temperaturas calculadas, com uma distribuição de temperaturas sem picos nas peças e com as juntas críticas, juntas 02 e 09, com filetes de brasagem com comprimento acima de 0,8 mm ou seja dentro do especificado e com o tubo com a parede sem redução de espessura, ou seja isento de erosão.

7 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- Brazing Handbook, 4ed.Miami: American Welding Society,1991,
AWS COMMITTEE ON BRAZING AND SOLDERING. ISBN(0-87171-359-4).

- Catálogo Brastak, Disponível em:
<<http://lcsime.files.wordpress.com/2012/08/catalogo-brastak1.pdf>>

- WIKIPEDIA. Capilaridade, Disponível em:
<<http://pt.wikipedia.org/wiki/Capilaridade>> Acesso:01/10/2013.

- WIKIPEDIA.
Disponível em:< <http://pt.wikipedia.org>> Acesso: outubro/2013.